

## MODIS から推定された北西グリーンランドにおける積雪物理量経年変化の初期解析結果

### Preliminary analysis of interannual variation in snow physical parameters retrieved from MODIS over northwest Greenland

朽木 勝幸<sup>1\*</sup>, 青木 輝夫<sup>1</sup>, 本吉 弘岐<sup>2</sup>, 庭野 匡思<sup>1</sup>, 谷川 朋範<sup>3</sup>, 堀 雅裕<sup>3</sup>, Knut Stamnes<sup>4</sup>, Wei Li<sup>4</sup>, 島田 利元<sup>5</sup>  
KUCHIKI, Katsuyuki<sup>1\*</sup>, AOKI, Teruo<sup>1</sup>, MOTOYOSHI Hiroki<sup>2</sup>, NIWANO, Masashi<sup>1</sup>, TANIKAWA Tomonori<sup>3</sup>, HORI, Masahiro<sup>3</sup>, STAMNES, Knut<sup>4</sup>, LI, Wei<sup>4</sup>, SHIMADA, Rigen<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター, <sup>3</sup> 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター, <sup>4</sup> スティーブンス工科大学, <sup>5</sup> 千葉大学

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>Snow and Ice Research Center, NIED, <sup>3</sup>Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>4</sup>Stevens Institute of Technology, <sup>5</sup>Chiba University

近年、北極域では雪氷の急激な変動がおこっており、グリーンランド氷床の消耗量は1990年代後半から急増している。その要因として、積雪粒径や積雪不純物などの積雪表面状態の質的变化とその結果として生じるアルベド変化が挙げられる。積雪粒径の増加は近赤外域のアルベドを低下させ、光吸収性不純物の増加は可視域のアルベドを低下される。また、後者の不純物効果は積雪粒径が大きいほど増大する。従って、不純物の増加に伴って積雪に吸収される日射量が増加すると、積雪粒子の成長が促進され、さらなるアルベド低下が引き起こされるという正のフィードバックが生じる。これら積雪アルベドに影響する積雪の質的变化をとらえるために、Terra/MODIS から積雪粒径と不純物濃度を抽出し、グリーンランド氷床における経年変化の初期解析を行った。

解析したパラメータは異なる層の粒径(表面、表層、下層)と光学的にすすに等価な不純物濃度であり、2001-2011年の各年の7月下旬から8月上旬の間に取得されたグリーンランド北西部におけるMODISの1シーンのデータから抽出された。積雪粒径は沿岸部で大きく、内陸部で小さかった。粒径が大きく、濡れ雪と考えられる領域の面積は年によって大きく変動しており、粒径の季節変化が年によって大きく異なると推察される。また、表面粒径が最も小さく、表層と下層の粒径はほぼ同じ値であったことから、表面以外は粒径がほぼ鉛直均一であったと考えられる。粒径の抽出結果は概ね2011年8月の予備検証観測の範囲内にあった。一方、すす濃度は最初の期間はほとんど検出下限濃度0.001 ppmw以下であり、過去の実測値と一致した。しかし、最後の数年は下限を上回り、0.01 ppmw程度となった。これは、2011年8月の検証観測値に比べて過大評価であった。原因としてMODISセンサーの感度劣化が考えられる。

キーワード: 積雪粒径, 光吸収性積雪不純物, MODIS, グリーンランド, 経年変化

Keywords: snow grain size, light absorbing snow impurities, MODIS, Greenland, interannual variation

## シベリア no.31 氷河の質量収支に関するこれまでの情報と今後の観測予定 Review of previous study and observation plan for mass balance of No. 31 glacier, Siberia

紺屋 恵子<sup>1\*</sup>, 門田勤<sup>1</sup>, 矢吹裕伯<sup>1</sup>, 杉浦幸之助<sup>1</sup>, 高橋修平<sup>2</sup>, 白川龍夫<sup>2</sup>, 大畑哲夫<sup>1</sup>

KONYA, Keiko<sup>1\*</sup>, Kadota Tsutomu<sup>1</sup>, Hironori Yabuki<sup>1</sup>, Konosuke Sugiura<sup>1</sup>, Shuhei Takahashi<sup>2</sup>, Tatsuo Shirakawa<sup>2</sup>, Tetsuo Ohata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 北見工業大学

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>Kitami Institute of Technology

東シベリア、スタル・ハヤタ山域には182の氷河が存在する。この地域の小氷期は1800年代と考えられている(高橋他, 2005. 雪氷)。AD1500年頃から2回の温暖期と2回の寒冷期を繰り返し、この傾向はロシア内ではタイミルやコーカサスと似ている(Solomina, 2005)。

IGY 期間中(1957-1959年)に、No.31 氷河についての観測が行われ、高度プロファイルの実測値が報告されている(Koreisha, 1963)。現在の質量収支を明らかにするため、2011年9月に、No.31 氷河にて質量収支の観測を開始した。2011年度は測器の設置のみを行い、2012年度に再度測定することにより年間の質量収支を得ることとした。氷河下流域にてステイク設置、氷河付近にAWS・雨量計・インターバルカメラ・積雪深計の設置を行った。2012年度はステイク観測網、気象観測網の拡張を図る予定である。

これまでのNo.31 氷河の質量収支については、Ananicheva et al., (2005)では、過去の氷河末端位置から、1945-1973年の後退量は少なく、1970年代の温暖化は激しかったことが示されている。

近年については、Ananicheva et al., (2010)にて質量収支の計算がされている。消耗量をKoreisha, (1991)から、夏季気温の関数として扱い、涵養量は、ELAでの消耗量と涵養量が等しいとして扱うことにより計算している。この方法では、気温は近くの気象官署、およびNo.31 氷河付近で1957-66に観測されていた値との遞減率を用いて外挿していた。一方、Koreisha, (1963)では、質量収支を夏季気温の関数として表している。Koreisha, (1963)で使われた式と、現在稼働している気象官署データから、最近の質量収支変動を再現した。両者を比較すると、相関の低い年代があることが分かった。今後の観測の結果を用いて、既存の方法を検証し過去の質量収支変動を再現する予定である。

キーワード: 氷河, 北極, シベリア, no.31, 質量収支, 観測

Keywords: glacier, arctic, Siberia, no.31, mass balance, observation

## シベリア北極域 DeLong 諸島の氷河周辺環境 Glacier environment in DeLong islands, Siberian arctic

紺屋 恵子<sup>1\*</sup>, 門田勤<sup>1</sup>, 矢吹裕伯<sup>1</sup>, 大畑哲夫<sup>1</sup>  
KONYA, Keiko<sup>1\*</sup>, Kadota Tsutomu<sup>1</sup>, Yabuki Hironori<sup>1</sup>, Ohata Tetsuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

### introduction

北極域は世界の中でも特に温暖化が急激に進行している地域である。北極海沿岸の氷河のうち、スバルパールやカナダ北極域の氷河では質量収支の変動現地観測が行われ、徐々に縮小傾向にあることがわかっている(たとえば GMBB, 2009, )。ロシア北極域については、動態が不明な氷河が多い。本研究で対象とするシベリア北極域の氷河は、1980年代にロシア人研究者にて観測が実施されたが(Verkulich et al., 1992)、その後の観測研究が途絶えている。

### 対象地域

DeLong 諸島は Bennett island, Genrietta island, Jaenetta island で構成される。DeLong 諸島総面積の約 50% が氷河域である。Bennett 島 (76.4N, 149.0E) は、長さ約 30 の島で、3 つのアイスクャップがある。アイスクャップの山頂の標高は、中央で 384m、西は 426 m、東は約 200 m である (world atlas of snow and ice resources)。

### 質量収支

Bennett 島最大の Toll 氷河の 1986/1987 年質量収支は -0.303m w.e. (Verkulich et al., 1992)、1956-1972 年の質量収支は -0.10 m w.e. と報告されている。(Jania and Hagen, 1996)。衛星画像から、Bennett 島では 1951-2010 年で、20 % 程度縮小していることが分かった (Yabuki, persn com)。また、DeLong 諸島の他の二つの島に存在する小さな氷河では、40 ~ 50 % の縮小率と見積もられている (Yabuki, persn com)。1997 年に出版された地図では、DeLong 島の氷河上の雪線高度は 200 ~ 300 m と表されている。1999 年の衛星画像では、一部でそれより上昇していることがわかる。ELA は、カナダ北極域では 1000m 以上、スバルパールでは 500 m 程度であるが、Bennett では 200 ~ 300 m 程度である (Jania and Hagen, 1996)。

### 気温変動

De Long 諸島西隣の New Siberian island の北西部に観測所; Ostrov Kotel'nyj (76.0N, 137.9E 標高 8m) があり、1937 年から気象観測が続けられている。他の地域と同様に、1930 年代から現在までのうち、1960 年代が最も気温が低い。1960 年代の 10 年平均と 2000 年代の 10 年平均を比較すると、-15.4 から -13.6 へ 1.8 上昇している。特に 1990 年代以降の温暖化は急速で、2000 年以降も上昇しつづけている。この期間の氷河の質量収支がマイナスに傾いたと予想できる。

### 海氷の変化とその影響

シベリア北極域はとくに海氷面積の減少率が大きい地域である。1996 年までは 9 月でも海氷は大陸に接岸することもあったが、2004 年からは 9 月には島に接岸しなくなった。北極海の海氷域が最小となった 2007 年には、東シベリア沖は大きく海氷が開いた状態となった。海氷の位置が氷河の質量収支に及ぼす影響を考えると、135 ~ 155 E の範囲で 1979 ~ 2010 年について 9 月の海氷の南端位置を抽出した。データは、SSM/I, 25km grid data, 1979-2008 を使用した。海氷が 20% 以上ある場所の最南端の位置の緯度を検出した結果、この範囲内での経度による南端位置の違いはほとんどないこと、近隣の年平均気温や 9 月の平均気温と良い相関を示すことが分かった。海氷が減少した 2000 年代は島の周囲の 9 月の海水面温度がプラスに転じており、特に 2007 年は海水面温度が高く、島の北側でも 5 度まで上昇している。海水温の上昇により、海水面から水蒸気が供給されて氷河の涵養に影響を与える可能性がある。

キーワード: 氷河, 北極, アイスクャップ, 質量収支, 気温上昇, 海氷分布

Keywords: glacier, arctic, ice cap, mass balance, temperature increase, sea ice distribution

**GRENE 事業北極気候変動分野の季節積雪に関する研究**  
Research related to seasonal snow cover in the Arctic Climate Change Project as one of GRENE programs

杉浦 幸之助<sup>1\*</sup>, 榎本 浩之<sup>2</sup>

SUGIURA, Konosuke<sup>1\*</sup>, ENOMOTO, Hiroyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

The Arctic Climate Change Project as one of Green Network of Excellence (GRENE) programs in collaboration with various research communities has started since 2011.

Seasonal snow cover will be significantly affected by climate change, and changes in seasonal snow cover can affect climate through various feedback mechanisms. Towards a better understanding of the role of seasonal snow cover in the Arctic, research related to seasonal snow cover is mainly dealt with in a research theme entitled "Role of snow, glacier and ice sheet in the Arctic under global warming" to contribute to GRENE goals such as 1) Elucidation of Polar Amplification mechanism on warming in the Arctic region, and 2) Elucidation of role of the Arctic region in global climate change and its prediction. This presentation will describe the outline and progress of the plan.

キーワード: 季節積雪, 北極, 気候変動

Keywords: seasonal snow cover, the Arctic, climate change

## 北極雪氷圏の融解シグナルの観測 Observation of melting signal from Arctic cryosphere

アリマス ヌアスムグリ<sup>1\*</sup>, 榎本 浩之<sup>2</sup>, 高橋 修平<sup>1</sup>

ALIMASI, Nuerasimuguli<sup>1\*</sup>, ENOMOTO, Hiroyuki<sup>2</sup>, TAKAHASHI, Shuhei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北見工業大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Kitami Institute of Technology, <sup>2</sup>national institute of Polar Research

北極圏の氷河、氷床、積雪域あなど雪氷圏の融解を衛星マイクロ波観測でとらえる。北極雪氷圏観測プロジェクトにおける現場観測点の予備調査や変動モニターを行う。

キーワード: 北極, 積雪, アラスカ, 融解, グリーンランド

Keywords: Arctic, snow, Akaska, Greenland, melting

## グリーンランド氷床再現実験における感度の不確定性 Uncertainties in steady-state and short-term responses of Greenland ice sheet simulation

齋藤 冬樹<sup>1\*</sup>, 阿部 彩子<sup>2</sup>, 高橋邦生<sup>1</sup>

SAITO, Fuyuki<sup>1\*</sup>, ABE-OUCHI, Ayako<sup>2</sup>, Kunio TAKAHASHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>AORI, Univ. of Tokyo

We present a series of numerical experiments of Greenland ice sheet to global warming and uniform warming using Ice sheet model for Integrated Earth system Studies (IcIES) to describe the model characteristics and its sensitivity.

Various uncertainties in the model result due to several factors such as parameterization schemes (physical aspects) as well as numerical aspects in the model are discussed.

Keywords: Greenland ice sheet, Ice sheet model

## 西グリーンランドの氷河塞き止め湖で2010年に発生した排水イベント(ジョークルホープス): 加速的融解のさらなる証拠か

### The 2010 draining episode of an ice-dammed lake in West Greenland: Further evidence for accelerated melting?

古屋 正人<sup>1\*</sup>, リウリン<sup>2</sup>, カン アバス<sup>3</sup>, ウォール ジョン<sup>4</sup>  
FURUYA, Masato<sup>1\*</sup>, LIU, Lin<sup>2</sup>, KHAN, Abbas Shfaqat<sup>3</sup>, WAHR, John<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院, <sup>2</sup> スタンフォード大学, <sup>3</sup> デンマーク工科大学, <sup>4</sup> コロラド大学ボルダー校  
<sup>1</sup>Hokkaido University, Graduate School of Science, <sup>2</sup>Stanford university, <sup>3</sup>Technical University of Denmark, <sup>4</sup>Univeristy of Colorado at Boulder

Furuya and Wahr (2005, GRL) は、西グリーンランドの Jakobshavn 氷河の南約 40km に位置する Tiningnilik 湖の周辺で顕著な地殻変動が 1993 年と 2003 年に生じていることを発見した。我々は、この地殻の変形が氷河塞き止め湖である Tiningnilik 湖の水が急激に排水した結果起きた「除荷変形」であると解釈した。

氷河周辺の湖でのこのような排水イベントは Jokulhaups と呼ばれ、Iceland や Alaska などでも知られている。現地の観測データは豊富にあるわけではないが、およそ 10 年に一度の頻度で起こることが知られており、次のイベントは 2013 年頃かと思われた。ところが、2010 年に最近の Jokulhaups が起きたことが分かった。InSAR や GRACE などの観測結果から最近のグリーンランドの加速的融解が指摘されてきたが、この局所的な観測結果も同様の背景で解釈できる。すなわち、氷河の融解が速い分だけ、湖への水の流入が速いことに加えて、Jokulhaups が起きるための周辺の氷河の厚さが従来より薄かったため、これまでよりもおよそ 3 年早く排水イベントが起きた、ということである。

また、排水時期の周辺の氷河流動速度は、それ以前や以後に比べて、明らかに加速していたことも分かった。このデータは、氷河底面での排水機構に関する情報を持っていると考え、解析を進めている。

キーワード: グリーンランド, 氷河塞き止め湖, ジョークルホープス, 合成開口レーダー, 氷河流動

Keywords: Greenland, ice-dammed lake, Jokulhaups, Synthetic Aperture Radar, glacier flow

## 広帯域地震計広域観測によるグリーンランド氷河地震モニタリング The GreenLand Ice Sheet monitoring Network (GLISN)

金尾 政紀<sup>1\*</sup>, 坪井 誠司<sup>2</sup>, 東野 陽子<sup>2</sup>, 豊国 源知<sup>3</sup>, 姫野 哲人<sup>1</sup>

KANAO, Masaki<sup>1\*</sup>, TSUBOI, Seiji<sup>2</sup>, TONO, Yoko<sup>2</sup>, TOYOKUNI, Genti<sup>3</sup>, HIMENO, Tetsuto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>Graduate School of Science, Tohoku University

近年グリーンランド氷床、特にその縁辺部での流出に伴う振動現象（氷河地震, Glacial Earthquake）が顕著に観測されている。この地震は高周波成分が少なく、明らかに通常と異なるメカニズムで発生し、氷床流動や氷河末端部の崩落により励起されたと推定されている。Ekstrom et al (2006, Science) では、21 世紀初頭 5 年間の発生頻度がそれ以前の倍であること、さらに季節変動も見られることから、最近の気候変動による氷床後退の速度変化が原因と示唆した。氷河地震は規模が小さく、グリーンランド島内で観測することが望ましいが、その地理・気候的困難さから既存の定常観測点の数は非常に少ない。そのためグリーンランド氷河地震を継続的に観測する目的で、多国間の国際共同による「グリーンランド氷床の地震モニタリング観測計画 GLISN (The GreenLand Ice Sheet monitoring Network)」が、ポスト国際極年 (IPY) で組織されている。グリーンランドに広帯域地震計を多数設置し、氷床とその縁辺部で発生する氷河地震の活動度と発生メカニズムを解明することが期待される。既存の汎地球デジタル地震観測網 (FDSN) と並行観測を行うことで、温暖化による氷床後退と氷河地震発生に関連性が明らかにされる。グリーンランド氷床の地震活動と発生過程から温暖化影響評価をする研究は独創的であり、北極域の雪氷環境に及ぼす温暖化影響について新視点をもたらす可能性がある。本発表では、グリーンランドの温暖化と氷河地震について紹介し、現在進行中の GLISN 計画の概要を述べる。また、既存データによる周辺域の地震活動の解析結果についても紹介する。

キーワード: グリーンランド, 温暖化, 氷河地震, 広帯域地震計, モニタリング, グローバル網

Keywords: Greenland, global warming, glacial earthquakes, broadband seismometer, monitoring, global network



## 北極海海氷の季節変化とその変動

## SEASONAL CYCLE AND VARIABILITY OF ARCTIC SEA ICE

館山 一孝<sup>2\*</sup>, 柴田 啓貴<sup>2</sup>, 田中 康弘<sup>2</sup>, アリマス ヌアスムグリ<sup>2</sup>

TATEYAMA, Kazutaka<sup>2\*</sup>, SHIBATA, Hiroki<sup>2</sup>, TANAKA, Yasuhiro<sup>2</sup>, ALIMASI, Nuerasimuguli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 北見工業大学

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Kitami Institute of Technology

Seasonal cycle is a very principal variation of sea ice change and has been studied for basic understanding of sea ice study. Recently many satellite data became available and strong variation has been reported. In the seasonal cycle, Arctic summer sea ice minimum is strong concern. This shows largest interannual variations in the annual cycle. In May and November, Arctic sea ice shows least interannual variations. There are some important turning points of ice conditions in the annual cycle. We tried to summaries resent understanding and unsolved problems, and discussed again the fundamental seasonal cycle.

キーワード: 北極, 海氷, 季節変化

Keywords: Arctic, sea ice, seasonal cycle

## 海水減少に伴う北極海大気 - 海洋相互作用の強化 Transfer of momentum from Atmosphere into the ocean via sea ice

吉澤 枝里<sup>1\*</sup>, 島田浩二<sup>1</sup>, 溝端浩平<sup>1</sup>  
YOSHIZAWA, Eri<sup>1\*</sup>, SHIMADA, Koji<sup>1</sup>, MIZOBATA, Kohei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京海洋大学大学院

<sup>1</sup> Graduate School of Marine Science and Technology

北極海の気候システムは近年の地球温暖化に対して脆弱であるとのイメージが先行しているが、数値モデルの予測結果からは違った側面がみえてくる。例えば、IPCC AR4において今世紀中に最も表面温度が上昇すると予測された領域は正に北極海である。これは海水消失域における秋～冬の昇温が主要因であり、海水減少に伴い北極海は温暖化を主導する存在に変貌することを示唆している。今後の温暖化及び気候変動予測には海水分布の正確な予測が不可欠になるが、現行の予測モデルでは海水減少の空間パターンを再現できておらず、海水減少メカニズムの核心部分を捉えられていないのが現状である。

我々は、このような現実と予測結果の乖離をもたらしている未解明の素過程を、海洋観測や衛星観測のデータを利用して特定・理解し、数値モデルの精緻化に繋ぐことを目的としている。

我々の課題の主軸は海水減少の“正のフィードバック・メカニズム仮説 (Shimada et al., 2006)”の定量化である。同仮説とは、海水減少に伴う海水運動の増大、海洋上層循環の強化、太平洋水からの熱流量の増大、海洋の温暖化、海水形成量減少が、更なる海水減少をもたらす正のフィードバック・メカニズムを構成しており、太平洋側北極海での近年の海水激減の特徴を定性的に説明しているが、予測分野に繋ぐには不十分である。本発表では、上記の一連の事象のうち、及び について、定量性の理解に向けた研究結果を紹介する。

### (1) 海水物性変化に起因する海水運動の増大メカニズム

現在の海水モデルでは、海水運動の海上風依存性が大きく、モデル結果と現実の海水運動には大きな差がある。特に近年の海水運動の増大は風応力の変化だけでは説明できない。そこで、本研究では海水物性の違いによる海水運動の応答特性を調べた。その結果、多年氷から一年氷に支配的な海水タイプが変化すると、同じ応力が加わる条件下でも海水運動が著しく増大することが示された。また、多年氷が支配的である場合でも、海水運動の発散が大きな場合には海水運動が著しく増大することが分かった。いずれも、内部応力散逸量の海水特性依存性に起因するものである。海水種別や海水の収束・発散を大気-海水間相互作用に関するパラメタリゼーションに導入することにより、モデルの改善が見込めると想定される。

### (2) 海洋上層循環の変化と空間パターン形成

北極海の海洋循環強度の変動についても、海面応力に起因するエクマン収束・発散に線形的に反応するというイメージが先行している。しかし、観測データから求めた海洋上層循環強度の指標となる主密度躍層深とエクマン収束・発散の空間分布は必ずしも一致しない。その理由は、存在する波動の影響を考慮しているか否かにある。両者の空間パターンの不一致は、ある海底地形勾配以上の斜面となっている海域でみられる。海水運動のパワースペクトルから、そのエネルギーは年スケールに卓越ピークがみられる。海底地形が平坦であれば、惑星ベータ効果が非常に小さい北極海では、スケールの変動により励起される傾圧構造は傾圧惑星ロスビー波が波動解を持ちえないため伝播できず、その場に滞在する。したがって、海底傾斜度がある臨界値以下である場合には、海洋上層循環構造の変動はエクマン鉛直流にておおよそ定まる。一方、臨界値以上の傾斜度をもつ海域では、年周期以下の海水運動成分が地形性ロスビー波として遠方場へと放射され、エクマン収束・発散により与えられた凹凸構造はその場に残らない。実際に、2008年の海面応力の増大に比例して海洋循環が強化していないのは、上記の力学により説明できる。また、海底地形が平坦な海域については、海面応力場、つまり、海水運動場を正確に把握していれば、最小の海洋観測にて、海洋構造を推定できる。

海洋循環場の強度・空間パターン変動の理解は、海洋熱の供給場所の推定に繋がり、海水減少海域を事前に理解する上で重要なポイントになる。比較的単純な力学と衛星データから循環構造の把握が可能である海底地形が平坦な海域から、海底地形が起伏に富み、波動による循環構造のモジュレーションが起き、かつ、太平洋水が北極海内部に輸送されるノースウインド海嶺以西の海域が、今後海水減少の理解を進めるに際し最重要海域になる。そこで、今夏から開始予定の海洋観測では、太平洋水の近年の流路をカバーする係留系・CTD観測を新規展開し、カナダ海盆における既存の観測体系と併せて、太平洋側北極海の海洋循環を東西に横断する観測網を設計した。この観測から我々は、海洋水平熱輸送量変動を決める上層循環変動とその要因を明らかにし、さらに、鉛直熱フラックス変動をもたらす力学も含め、著しい海水減少をもたらす“正のフィードバック・メカニズム”全体の理解を目指している。

キーワード: 北極海, 海水減少, 気候変動, 温暖化

Keywords: Arctic Ocean, sea ice reduction, climate change, global warming

## モンゴル永久凍土域のカラマツ林における水文気象・生態・年輪年代の長期モニタリング

### Long-term hydrometeorological, ecological and dendrochronological monitoring at larch forests on permafrost of Mongolia

宮崎 真<sup>1\*</sup>, 石川 守<sup>1</sup>, ピリグバートル ナンザンド<sup>2</sup>, パータービレグ ナチン<sup>2</sup>, ダムディンスレン ソドブ<sup>2</sup>, ジャンバル ジャブ ヤムヒン<sup>3</sup>

MIYAZAKI, Shin<sup>1\*</sup>, ISHIKAWA, Mamoru<sup>1</sup>, Nanzand BILEGBAATAR<sup>2</sup>, Nachin BAATARBILEG<sup>2</sup>, Sodov DAMDINSUREN<sup>2</sup>, Yamkhin JAMBALJAV<sup>3</sup>

<sup>1</sup>北海道大学地球環境科学研究所, <sup>2</sup>モンゴル国立大学, <sup>3</sup>モンゴル科学アカデミー地理研究所

<sup>1</sup>Hokkaido University, <sup>2</sup>National University of Mongolia, <sup>3</sup>Institute of Geography, MAS

#### 1. はじめに

モンゴルはシベリアから続くタイガ林の南限に位置している。モンゴルの森林面積は国土の約7%を占めており、その約80%はカラマツ林 (*Larix siberica*) である。モンゴルでは森林は地下に永久凍土がある北向き斜面に主に分布し、永久凍土がない南向き斜面には草原が主に分布している。火災、伐採、虫害等の森林に対する攪乱は森林の将来変化において考慮すべき重要な要素である。モンゴルでは、気温の上昇(近年60年間で1.8℃)、降水量の変化(夏季に7.5%の減少、冬季に9%の増加)等の気候変化が顕著である。気候の変化や人為的影響などの変化がモンゴルの生態系、特に森林の分布に影響を与える可能性がある。

2009年よりモンゴル北部永久凍土域のカラマツ林において水文気象・生態・年輪年代の長期モニタリングを開始した。本研究の目的は、モンゴル北部の永久凍土上のカラマツ林における熱・水・二酸化炭素の交換過程とその動態を複数のアプローチから総合的に明らかにすることである。本稿では、観測の方法と得られたデータならびに初期解析結果を示す。

#### 2. 観測方法とデータ

観測サイトはモンゴル国トゥブ県バツンブル郡ウドレグ村(48°15'43.7"N, 106°50'56.6"E, 標高1264m)のモンゴル国立大学研究林内のカラマツ林にある。観測器材は高さ25mの鉄塔およびその周辺の樹木や地面に設置した。水文気象観測は、気温・相対湿度(2高度:25m, 2m)、気圧、風向風速、降水量、積雪深、短波・長波・光合成有効放射量(上向き・下向き:2高度:25m, 5m)、地温(0, -0.2, -0.4, -0.8, -1, -2, -3, -4, -6, -8, -10m)、土壌水分量(-0.1, -0.3, -0.5, -0.7, -0.9, -1.3, -1.8, -2)と顕熱・潜熱・運動量・二酸化炭素フラックス(超音波風速温度計と赤外線水蒸気二酸化炭素分析計のデータから渦相関法で算出)を計測している。生態観測は、樹木の胸高直径の成長量(デンドロメーター)、樹液流量(グラニエ法)を計測し、植生および地表面状態(タワー頂上から北向きに設置した定点カメラの写真から解析)を記録している。年輪年代観測は、各樹木の年齢、各年の成長量、干ばつ・火災履歴を測定している。カラマツ林の平均高は18.3m、平均胸高直径は33.2cmであった。

#### 3. 結果

気温の年較差は約60℃(6・7月に+25℃~27℃、1・12月に約-30℃)、年平均気温は約-1℃であった。年降水量は約250mm、5月から9月の降水量が年降水量の約90%を占めていた。定点カメラ画像の解析結果から地表面状態とカラマツ林の生物季節が明らかとなった。1月~3月、11・12月は地表面に積雪があり、5月下旬にカラマツの葉が展葉したのち、葉の成長の最盛期を7月に迎え、10月上旬に落葉していた。1月~3月と11・12月にはアルベードは0.2~0.3でカメラ画像の積雪期と一致していた。光合成有効放射量(PAR)は、5月下旬の展葉期にPARアルベードの急激に減少し、10月上旬の落葉期に急激に増加していた。深さ10cmの土壌水分量は、4月には約10%以下であったが、降水の季節変化と対応して5月ごろから増加し、8月までの間は約20%で、10月から減少し約10%以下となっていた。地温は深さ3m以下では一年中0.2℃程度となっており、永久凍土となっていることが分かった。

キーワード: モンゴル, カラマツ林, 熱・水・炭素収支, 土壌水分, 永久凍土

Keywords: Mongolia, Larch forest, Heat, water and carbon balance, Soil moisture, Permafrost

## 東シベリアタイガ林の大気水蒸気同位体比の変動と水蒸気の起源と輸送過程 Isotopic composition of atmospheric water vapor and its source and transport in the taiga forest, eastern Siberia

上田 哲大<sup>1\*</sup>, 杉本 敦子<sup>2</sup>

UETA, Akihiro<sup>1\*</sup>, SUGIMOTO, Atsuko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院環境科学院, <sup>2</sup> 北海道大学大学院 地球環境科学研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

東シベリアは気候変動等に敏感に応答する地域であり、非常に厳しい乾燥気候下にあるにも関わらず、広範囲にわたり永久凍土と落葉性針葉樹林(タイガ林)が分布している。その中で、植物の蒸散過程がこの地域の水循環に大きく寄与している。そこで、植物の蒸散過程がどのように水循環に関与するか明らかにするために、本研究では、2006年、2007年、2008年の夏後半に東シベリアタイガ林にて、降水・植物体内水・土壌水・地表有機層中の水の安定同位体比と併せて、大気水蒸気安定同位体比の数週間スケールの変動を観測し、その変動要因の解明を気象パラメータとの比較を通して行なった。これらの年は、夏季の降水量や冬季の積雪量が近年増大した影響で土壌水分量が多くなっており、特に2007年は他の年に比べて異常に高い土壌水分量が観測された。

大気水蒸気  $^{18}\text{O}$  の数週間スケールでの変動について、2006年と2007年では大気水蒸気  $^{18}\text{O}$  と混合比の間に正の相関 ( $R^2=0.99, 0.88$ ) が見られた。これは、植物の蒸散過程により大気中に放出された  $^{18}\text{O}$  値の高い水蒸気と、降水イベントの影響により  $^{18}\text{O}$  値が低くなった水蒸気が混合したものであることが示唆された。その一方、土壌水分が過多にあった2007年ではそのような関係は見られず、蒸散よりも湿潤な地表面からの蒸発が顕著であったことが示唆された。

500 km × 500 km の領域を設定し、再解析データを用いて領域の各境界における水平方向の水蒸気フラックスの変動を算出し、その変動と大気水蒸気  $^{18}\text{O}$  の変動を比較した。その結果、特定の方角からの水蒸気の流入量の変動に対して水蒸気  $^{18}\text{O}$  値は特定の変動を示さなかった。これは、特定の位置に特定の水蒸気のソースが存在しなかったことを示唆している。降水量と気温の空間分布と後方流跡線解析(HYSPLIT4)より、 $^{18}\text{O}$  値の高い水蒸気は観測地点の周辺の、気温が比較的高く降水が観測されなかった森林から流れていたことが示され、その一方、 $^{18}\text{O}$  値の低い水蒸気は、気温が低く、降水が観測された森林上から流れていたことが示された。これは、空気塊に蒸散由来・降水の影響を受けた水蒸気が取り込まれ、流れてきたことを示唆しており、結果として、大気水蒸気  $^{18}\text{O}$  値は「植物の蒸散過程」と「降水の影響」の2つの要素で変動が決まることが示された。

以上の結果及び考察により、比較的高い  $^{18}\text{O}$  値を持つ植物の蒸散由来の水蒸気が数週間スケールという時間スケールにおいてタイガ林の水循環の中で大きな役割を果たすことが示された。この結果は、今後モデル等でタイガ林内の降水過程を考察するうえで、その元になる水蒸気についての有益な情報を与えることができるものであると考えられる。

キーワード: 大気水蒸気同位体比, 東シベリア, タイガ林, 蒸散, 降水

Keywords: stable isotope of atmospheric water vapor, eastern Siberia, taiga, plant transpiration, precipitation

## アラスカにおける最近の森林とツンドラの大火災 Recent Large Forest and Tundra Fires in Alaska

早坂 洋史<sup>1\*</sup>

HAYASAKA, Hiroshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院

<sup>1</sup> Graduate School of Hokkaido University

アラスカでは、2004, 2005, 2007年に例年の3倍の約12万回の雷が発生し、約300件の火災が発生した。この3年の最終的な焼損面積は、かなり異なっていた。2004と2005年は、過去55年間(1956-2010年)で、順に過去最大と過去3位の焼損面積であった。しかし、2007年は大規模なツンドラ火災が起きたものの焼損面積は、平均より少し小さい結果となった。この3年の活発な雷の発生、最大焼損面積となった背景に付いて、種々の気象条件を検討した結果について検討した結果について報告する。

キーワード: 活火災, 火災期間, ホットスポット, 雷, 日照り, 降雨

Keywords: live fire, fire duration, hotspot, lightning, drought, precipitation

## 北極海上における生物起源揮発性有機化合物の分布 Distribution of biogenic volatile organic compounds over the Arctic Ocean

横内 陽子<sup>1\*</sup>, 猪上 淳<sup>2</sup>  
YOKOUCHI, Yoko<sup>1\*</sup>, Jun Inoue<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>2</sup>Japan Marine Science and Technology Center

There are a variety of biogenic volatile organic compounds (BVOCs) in the atmosphere. They are believed to be playing an important role in the global environment through aerosol formation, ozone depletion, etc. We studied spatial/temporal distribution of selected BVOCs in the atmosphere over the Arctic Ocean, and found that their concentrations were likely to be affected by sea-ice type.

Air samples were collected during an Arctic cruise conducted by the R/V Mirai from 30 August to 21 October. Sampling was done with stainless steel canisters on board at the front of the uppermost deck, forward of potential contamination from stack. After transport to the laboratory, the samples were analyzed using a pre-concentration/capillary gas chromatograph - mass spectrometry (GC-MS).

Methyl iodide (CH<sub>3</sub>I) is the most abundant organic iodine compound in the atmosphere, which is mostly emitted from the ocean. Methyl chloride (CH<sub>3</sub>Cl) is the most abundant chlorine compound in the atmosphere, which is mostly emitted from tropical forests followed by warm ocean and biomass burning on a global scale. Both of them showed gradual decrease with latitude, but they showed quite different variation in the marginal ice zone. CH<sub>3</sub>Cl concentration was higher at the sites surrounded by sea ice than at the open sea near the ice edge, while CH<sub>3</sub>I concentration decreased over/near the sea ice. This finding would suggest CH<sub>3</sub>Cl is absorbed by the cold seawater, but CH<sub>3</sub>I is emitted even from the cold water. Among the other BVOCs, methyl bromide (CH<sub>3</sub>Br) was similar to CH<sub>3</sub>Cl in the relationship to sea ice. Bromoform (CHBr<sub>3</sub>), which is mainly emitted from macroalgae, showed the third pattern: lowest over thin (new) sea ice and highest over thick (old) sea ice. This would be consistent with that ice-algae usually grow on the old sea ice.

キーワード: 揮発性有機化合物, 北極, ヨウ化メチル, 塩化メチル, ブロモホルム

Keywords: volatile organic compounds, Arctic, methyl iodide, methyl chloride, bromoform

## 東シベリアタイガ ツンドラ境界域におけるメタンフラックスと安定同位体比 Methane flux and its stable isotope ratios in a taiga-tundra ecotone in East Siberia

新宮原 諒<sup>1\*</sup>, 岩花 剛<sup>2</sup>, 鷹野 真也<sup>1</sup>, 中村 恵<sup>1</sup>, トロフィーム・マキシモフ<sup>3</sup>, 杉本 敦子<sup>2</sup>

SHINGUBARA, Ryo<sup>1\*</sup>, IWAHANA, Go<sup>2</sup>, TAKANO, Shinya<sup>1</sup>, NAKAMURA, Megumi<sup>1</sup>, MAXIMOV, Trofim C.<sup>3</sup>, SUGIMOTO, Atsuko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院環境科学院, <sup>2</sup> 北海道大学地球環境科学研究所, <sup>3</sup> ロシア科学アカデミー寒冷圏生物学研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, <sup>2</sup> Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, <sup>3</sup> Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch, Russian Academy of Science

One of the major sources of CH<sub>4</sub> is natural wetland and CH<sub>4</sub> is partly absorbed into forest soil. These CH<sub>4</sub> exchange between soil and the atmosphere is known to be spatially variable to great extent (Sachs *et al.*, 2010). Wetland is broadly distributed in the Arctic (Aselmann & Crutzen, 1989) and taiga-tundra ecotone (low and high shrub tundra) also covers significant area in the region (Kaplan & New, 2006). The vegetation in the taiga-tundra ecotone might be changed by climate change such as enhanced warming in the Arctic (Walker *et al.*, 2006) and eventually CH<sub>4</sub> flux as well, which is a strong greenhouse gas. In order to estimate CH<sub>4</sub> emission from a region in the taiga-tundra ecotone, it is necessary to observe CH<sub>4</sub> flux not only at a typical tundra site but also at multiple sites including taiga area. Such observation had been carried out in other region such as West Siberia (Flessa *et al.*, 2008), but not yet in East Siberia. The objective of this study is (1) to establish new observation sites in a taiga-tundra ecotone in East Siberia and observe CH<sub>4</sub> flux at each vegetation landscape and (2) to clarify the controls of CH<sub>4</sub> flux in the ecosystem.

We observed CH<sub>4</sub> flux by closed chamber method in Jul 2009-2011 at 4 new sites (separated for tens of km) with different vegetation in the taiga-tundra boundary of Indigirka lowland near Chokurdakh (70N, 148E), Russia. The region has a typical tundra station, where CH<sub>4</sub> flux had been observed since 2004 (van Huissteden *et al.*, 2005). We set new sites denoted as V (taiga-like), K (typical boundary), B (tundra-like), where tree mounds with moss cover (*Sphagnum spp.*) and with larch, wet area with sedges (or *Sphagnum*) and frequently with surface water were distributed in a patchy way. We also set site F (floodplain) in 2010. Along with flux observation, we measured oxidation reduction potential (ORP), soil temperature, soil moisture, and thaw depth as potential controls of CH<sub>4</sub> flux. In 2011, we also measured CH<sub>4</sub> concentration in surface water and in soil pore (at ca. 15 cm) in wet areas, and delta-13C and delta-D of these dissolved CH<sub>4</sub> and emitted CH<sub>4</sub> to clarify the production, transport, and oxidation process. GC-FID was used to analyze CH<sub>4</sub> concentration and GC/GC/C(TC)/IRMS for delta-13C and delta-D of CH<sub>4</sub>.

The observed CH<sub>4</sub> flux was -0.23~7.0 mgC m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> and different among vegetation types. At tree mounds and river terrace (F site), the soil was drier with relatively higher ORP than wet areas and CH<sub>4</sub> emission wasn't observed. At K wet area (sphagnum/sedge), where dead larch with flat Sphagnum cover on ground could be seen and regarded vegetation succession was taking place, small CH<sub>4</sub> emission was observed (2.1 mgC m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> at maximum). At V, B sedge wet area, the largest emission was observed (0.05~7.0 mgC m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). CH<sub>4</sub> flux didn't correspond with CH<sub>4</sub> concentration in surface water, but the flux was large when CH<sub>4</sub> concentration in soil pore was high, indicating that the contribution of CH<sub>4</sub> diffusion throughout surface water is small and that CH<sub>4</sub> could be emitted from soil through vascular plants. CH<sub>4</sub> flux was positively correlated with soil temperature at wet areas, as well as CH<sub>4</sub> concentration in soil pore. CH<sub>4</sub> flux at K sedge wet area, however, was almost constant and had no correlation with CH<sub>4</sub> concentration in soil pore. In 2011, when the water level of the river system was remarkably high and the soil was wet, the largest CH<sub>4</sub> flux was observed with low ORP. The observed delta-13C of CH<sub>4</sub> in soil pore was extremely high (-59~-47 per mil), which indicates the delta value was affected by diffusion or oxidation in the soil. Delta-D-delta-13C plot supported the CH<sub>4</sub> transportation by plants. To estimate CH<sub>4</sub> flux of the region, it's necessary to consider not only tree mound and sedge wet area but also vegetation succession. If vegetation changes from tree mound to succession area, or from succession area to sedge wet area, regional CH<sub>4</sub> flux might increase and cause positive feedback on climate.

キーワード: メタン, タイガ ツンドラ境界域, 東シベリア, 北極圏, 炭素安定同位体比, 水素安定同位体比  
Keywords: methane, taiga-tundra ecotone, East Siberia, Arctic, carbon isotope ratio, hydrogen isotope ratio

## 極域寒冷域の降雪の降水強度分布 The intensity distribution of snowfall in the cold regions

平沢 尚彦<sup>1\*</sup>, 小西啓之<sup>2</sup>

HIRASAWA, Naohiko<sup>1\*</sup>, Hiroyuki Konishi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 大阪教育大学

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Osaka Kyoiku University

地球温暖化等の気候変動において、水循環もまた地球規模の変動を起こす。極域では降雪の変動が積雪被覆の面積や期間を変えることによって、アイス-アルベドフィードバック過程の働きに影響を及ぼす。極域の水循環の実態やその気候への影響を研究するために、まず、降水量を正しく観測したい。しかし、現在世界中で行われているレインゲージを用いた降雪量観測では、その捕捉率が50%以下になることは珍しくなく、観測精度の向上が強く求められている。極域寒冷域では、気温が低く、少量の降水量、かつ降水強度の弱い降水の頻度が大きく、これを捉えていく必要がある。このような問題を解決する目的で、我々は、これまで新潟県や北海道で幾つかの測器を用いて観測を行ってきた。本講演では、主に降水粒子カウンターにより観測された国内の降雪データをもとに、我々が捉えなければならない降雪が実際にどのような降水強度によって構成されているのかを明らかにする。また、シーロメーター観測の利用についてもコメントしたい。

キーワード: 降雪量観測, 極域, 寒冷域, 降雪粒子計数計, シーロメーター

Keywords: snowfall amount observation, polar region, cold region, snow particle counter, ceilometer



## 20世紀後半におけるユーラシア大陸上の春季降水量変化に対する人間活動の影響 Anthropogenic impact on spring precipitation over Eurasian continent in the late 20th century

野沢 徹<sup>1\*</sup>, 川瀬宏明<sup>2</sup>

NOZAWA, Toru<sup>1\*</sup>, KAWASE Hiroaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-earth Science and Technology

Global warming due to anthropogenic greenhouse gases (GHGs) causes an increase in mean and extreme precipitation. It also causes a decrease in snow cover duration and snow water equivalent (SWE) in mid-latitude and lower altitudinal area, whereas it causes an increase in SWE in high-latitude and high altitudinal area. On the other hand, anthropogenic emissions of aerosols have decreased over European countries, the U.S., Japan, etc., although they are still increasing in China, India, and developing countries. Changes in the anthropogenic aerosols alter the surface radiation fluxes through the scattering and absorbing processes of aerosols. These changes in surface radiation fluxes affect the surface energy budget; that is latent and sensible heat fluxes. Recently, it is pointed out that 'dimming and brightening' associated with aerosol changes affect regional and global climate changes. Decrease in anthropogenic aerosols induces brightening over Europe, which resulting in an increase in evaporation. The increase in evaporation contributed to the increase in precipitation via the water budget relationship.

Here, we investigate the impact of changes in GHGs and aerosols on precipitation over the Eurasian continent in the late 20th century using historical simulations performed by a coupled general circulation model generally known as the medium-resolution version of the Model for Interdisciplinary Research On Climate (MIROC). The atmospheric component of MIROC includes an explicit representation of the first and second kinds of indirect effects induced by soluble aerosols as well as the direct effects of all aerosols. We look into the relative contribution of individual anthropogenic forcing factors by analyzing datasets of several experiments forced with different combinations of external climate forcing factors. We focus on the changes in surface radiation and heat budgets which affect the evaporation and precipitation statically.

The historical simulation by MIROC can simulate the observed precipitation trend over high-latitude area in the late 20th century. Significant increase in precipitation was observed and simulated during spring. Moistening trends are significant over the western part of Eurasia (Europe) during all season. The annual drying trend can not be simulated over the eastern parts of Eurasian continent. According to an analysis using an approximated atmospheric moisture budget equation, we find that the increase in precipitation is caused by the increase in evaporation and advection over the western and eastern parts of Eurasian continent, respectively. The change in evaporation is thought to be related to the surface radiation changes, hence, we investigate the changes in surface shortwave and longwave radiation. Change in net surface shortwave radiation (SSR) controlled the changes in net radiation. The net SSR increases over central and western parts of Eurasian continent not only in the all-sky situation but also in the clear-sky situation. The downward SSR shows an increase over Europe. In contrast, the upward SSR shows a decrease, which means the increase in net radiation at the surface, over the central part of Eurasia. According to an analysis of several experiments forced with individual forcing factors, it is speculated the change in downward SSR is associated with the changes in aerosols, while the changes in upward SSR is associated with the snow cover change. The increase in downward SSR over Europe was caused by the decreases in aerosols. The decrease in upward SSR over the central part of Eurasian continent was caused by the increasing concentrations of GHGs; the decrease in upward SSR is strongly associated with the surface albedo reduction which is caused by the decrease in snow cover due to global warming.

キーワード: 地球温暖化, 人間活動, 温室効果ガス, エアロゾル

Keywords: global warming, anthropogenic, greenhouse gases, aerosols